



Étude de l'influence des émissions de l'incinérateur d'Ivry-sur-Seine

AU NIVEAU DE TOURS PARISIENNES - PARIS 13^e



L'Observatoire de l'air en Île-de-France

ÉTUDE DE L'INFLUENCE DES ÉMISSIONS DE L'INCINÉRATEUR D'IVRY-SUR-SEINE AU NIVEAU DE TOURS PARISIENNES (Paris 13^{ème})

MARS 2023

« Le bon geste environnemental : N'imprimez ce document que si nécessaire et pensez au recto-verso ! »

SOMMAIRE

SOMMAIRE	4
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	5
GLOSSAIRE	7
1. CONTEXTE ET OBJECTIFS.....	8
2. CHOIX DES SITES DE MESURES.....	9
3. CHOIX DE LA PERIODE DE MESURES	10
4. MISE EN ŒUVRE DE LA CAMPAGNE DE MESURES	11
4.1 IMPLANTATION DES CAPTEURS SUR LES TOURS.....	11
5. RESULTATS DES MESURES.....	12
5.1 PERIODE DE MESURES	12
5.2 CONDITIONS METEOROLOGIQUES	12
5.3 PERIODES DE FONCTIONNEMENT DE L'UIOM	14
5.4 RESULTATS DES MESURES SUR LA DUREE TOTALE DE LA CAMPAGNE.....	15
5.4.1 Dioxyde d'azote (NO ₂) : une décroissance des teneurs avec la hauteur.....	15
5.4.2 Particules PM ₁₀	19
5.4.3 Particules PM _{2,5}	20
5.5 ZOOMS LA PERIODE DU 19 AU 24 DECEMBRE	21
5.5.1 Dioxyde d'azote (NO ₂)	21
5.5.2 Particules PM ₁₀	23
5.5.3 Particules PM _{2,5}	24
6. CONCLUSIONS	25
ANNEXES	26
ANNEXE 1	27
Emplacements des sites de mesure	27
ANNEXE 2.....	28
Roses des vents 1991 – 2010 et 2009 – 2019.....	28
ANNEXE 3.....	29
Matériel de mesure	29

TABLE DES ILLUSTRATIONS

FIGURE 1 : PLAN DE SITUATION DU CENTRE D'INCINERATION DES DECHETS D'IVRY-SUR-SEINE ET DES TOURS DU 13EME ARRONDISSEMENT DE PARIS (GOOGLE EARTH).....	8
FIGURE 2 : EMLACEMENT DE L'UIOM ET DES TOURS DU 13 ^E ARRONDISSEMENT INSTRUMENTEES DANS LA PRESENTE ETUDE.	9
FIGURE 3 : ROSE DE VENTS SUR 5 ANS DE 2015 A 2019 A PARIS-MONTSOURIS [SOURCE METEO-FRANCE].....	10
FIGURE 4 : REPARTITION DES MESURES AU NIVEAU DES TROIS TOURS (RAVENNE, ANCONE ET MYKERINOS)	11
FIGURE 5 : ILLUSTRATION DE LA STATION DE MESURE INSTALLEE AU SOMMET DE LA TOUR RAVENNE PERMETTANT LA MESURE DU DIOXYDE D'AZOTE (NO ₂) ET DES PARTICULES PM ₁₀ ET PM _{2.5}	12
FIGURE 6 : ROSE DES VENTS AU COURS DE LA PERIODE DE MESURES, DU 22 NOVEMBRE 2021 AU 9 JANVIER 2022 [SOURCE METEO-FRANCE – STATION PARIS-MONTSOURIS]	13
FIGURE 7 : ROSES DES VENTS SUR L'HISTORIQUE 2015 – 2019, POUR LES MOIS DE NOVEMBRE, DECEMBRE, JANVIER [SOURCE METEO-FRANCE – STATION PARIS-MONTSOURIS]	13
FIGURE 8 : CONCENTRATIONS MOYENNES EN NO ₂ AU NIVEAU DES DEUX TOURS DU SECTEUR MASSENA (TOURS RAVENNE ET ANCONE) SUR LA PERIODE TOTALE	15
FIGURE 9 : CONCENTRATIONS MOYENNES EN NO ₂ AU NIVEAU DE LA TOUR MYKERINOS SUR LA PERIODE TOTALE	15
FIGURE 10 : ROSES D'IMPACT EN NO ₂ SUR LES TOURS INSTRUMENTEES SUR LA DUREE TOTALE DE LA CAMPAGNE	17
FIGURE 11 : EVOLUTION DES CONCENTRATIONS EN NO ₂ SUR LA PERIODE DU 22 AU 28 NOVEMBRE AU NIVEAU DU SOL ET DU SOMMET DE LA TOUR RAVENNE.....	18
FIGURE 12 : ROSES D'IMPACT EN NO ₂ ENTRE LES DIFFERENTES ALTITUDES (SOL-SOMMET-MILIEU) DE LA TOUR MYKERINOS SUR LA DUREE TOTALE DE LA CAMPAGNE	19
FIGURE 13 : A GAUCHE : CONCENTRATIONS MOYENNES EN PARTICULES PM ₁₀ SUR LA TOUR RAVENNE AU SOL ET AU SOMMET SUR LA PERIODE TOTALE DES MESURES. A DROITE : ROSE D'IMPACT POUR CE POLLUANT ENTRE LE SOMMET ET LE SOL SUR LA DUREE TOTALE DE LA CAMPAGNE.....	20
FIGURE 14 : A GAUCHE : CONCENTRATIONS MOYENNES EN PARTICULES PM _{2.5} SUR LA TOUR RAVENNE AU SOL ET AU SOMMET SUR LA PERIODE TOTALE DES MESURES. A DROITE : ROSE D'IMPACT POUR CE POLLUANT ENTRE LE SOMMET ET LE SOL SUR LA DUREE TOTALE DE LA CAMPAGNE.....	20
FIGURE 15 : CONCENTRATIONS MOYENNES EN NO ₂ SUR L'ENSEMBLE DES SITES DE MESURES SUR LA PERIODE DU 19 AU 24 DECEMBRE 2022, (A) TOUR ANCONE (B), TOUR RAVENNE ET (C) TOUR MYKERINOS.....	22
FIGURE 16 : CONCENTRATIONS MOYENNES EN PARTICULES PM ₁₀ AU NIVEAU DE LA TOUR RAVENNE SUR LA PERIODE DU 19 AU 24 DECEMBRE 2022.....	23
FIGURE 17 : CONCENTRATIONS MOYENNES EN PARTICULES PM _{2.5} AU NIVEAU DE LA TOUR RAVENNE SUR LA PERIODE DU 19 AU 24 DECEMBRE 2022.....	24

GLOSSAIRE

Unités :

$\mu\text{g}/\text{m}^3$: microgramme par mètre cube

Polluants :

NO_2 : dioxyde d'azote

PM_{10} : particules de diamètre inférieur à $10 \mu\text{m}$

$\text{PM}_{2,5}$: particules de diamètre inférieur à $2,5 \mu\text{m}$

Autres :

UIOM : unité d'incinération d'ordures ménagères

Syctom : Agence métropolitaine des déchets ménagers - Syndicat intercommunal de traitement des ordures ménagères de l'agglomération parisienne

Typologie des stations

Station de fond : station de mesure située suffisamment loin des sources locales identifiées, comme les axes routiers ou les grandes sources industrielles, pour ne pas être directement influencée par ces dernières. Les stations de fond caractérisent l'ambiance générale de la pollution urbaine d'une zone et représentent une référence basse des concentrations rencontrées, pour un secteur géographique donné.

Station trafic : station de mesure implantée à proximité immédiate (moins de 10 mètres) d'un axe routier, de manière à caractériser les niveaux de pollution issus de l'influence directe de cet axe.

1. Contexte et objectifs

L'unité d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) d'Ivry-Paris-XIII, exploitée par l'Agence métropolitaine des déchets ménagers (Syctom), est implantée à la limite d'Ivry-sur-Seine et du 13^{ème} arrondissement de Paris.

Le 13^{ème} arrondissement héberge plusieurs tours d'une centaine de mètres de hauteur (35 à 38 étages), dont les habitants de certaines d'entre elles, notamment du secteur Masséna, ont fait part de leur inquiétude auprès du Syctom quant à la pollution potentiellement issue de l'UIOM, notamment au panache pouvant être à hauteur des étages les plus hauts des tours.

Dans ce cadre et conformément au Programme de Surveillance de la qualité de l'air 2016 – 2021, qui prévoit de faire des diagnostics approfondis autour des zones franciliennes à enjeux particuliers et de faciliter la concertation, Airparif propose un diagnostic des niveaux de pollution atmosphérique. Afin d'estimer l'influence du panache de l'incinérateur au niveau de tours d'habitation du 13^{ème} arrondissement, des mesures ont été proposées à la fois au niveau du sol et au sommet des tours, où l'impact potentiel serait probablement le plus élevé. Ce dispositif a été proposé pour trois tours, afin de permettre la caractérisation de la qualité de l'air à différentes distances de l'incinérateur et selon différents secteurs de vent. Il a été complété, pour l'une des tours instrumentées, par une mesure à un niveau intermédiaire afin d'affiner le gradient de concentration entre le sol et le sommet de la tour. Compte-tenu des émissions du centre d'incinération, les polluants d'intérêt retenus afin de caractériser la qualité de l'air selon différentes hauteurs sont les oxydes d'azote (NO_x : NO et NO_2) et les particules PM_{10} et $\text{PM}_{2.5}$. Une période de mesure de 6 semaines a été réalisée afin d'obtenir le maximum de données propices à l'étude de l'impact potentiel du panache des émissions de l'incinérateur à hauteur des tours visées par les mesures.



Figure 1 : Plan de situation du centre d'incinération des déchets d'Ivry-sur-Seine et des tours du 13^{ème} arrondissement de Paris (Google Earth).

2. Choix des sites de mesures

Dans le cadre de l'évaluation de l'impact du panache de l'UIOM d'Ivry-Paris-XIII, la zone d'étude est prédéfinie par le secteur d'où émane la demande, c'est-à-dire, d'un ensemble de tours d'habitation du 13^{ème} arrondissement, dans le secteur Masséna (en vert sur la Figure 2). Deux premières tours de 35 étages ont donc été retenues dans ce secteur, à deux distances différentes de l'UIOM afin de déterminer la portée d'un potentiel impact. Cette zone se trouve « sous le vent¹ » de l'UIOM par vent de secteur est. Afin de consolider les interprétations, une troisième tour, de 35 étages également, a été retenue dans une direction par rapport à l'UIOM la plus éloignée possible de celle des tours du secteur Masséna (en bleu sur la Figure 2), mais à une distance de l'UIOM comparable. Cette troisième zone se trouve « sous le vent » de l'UIOM par vent de secteur sud-est. Le plan de la Figure 2 indique la localisation de l'UIOM (en rouge), et les emplacements des trois tours instrumentées : tour Ravenne et tour Ancône (en vert) et tour Mykérinos (en bleu).

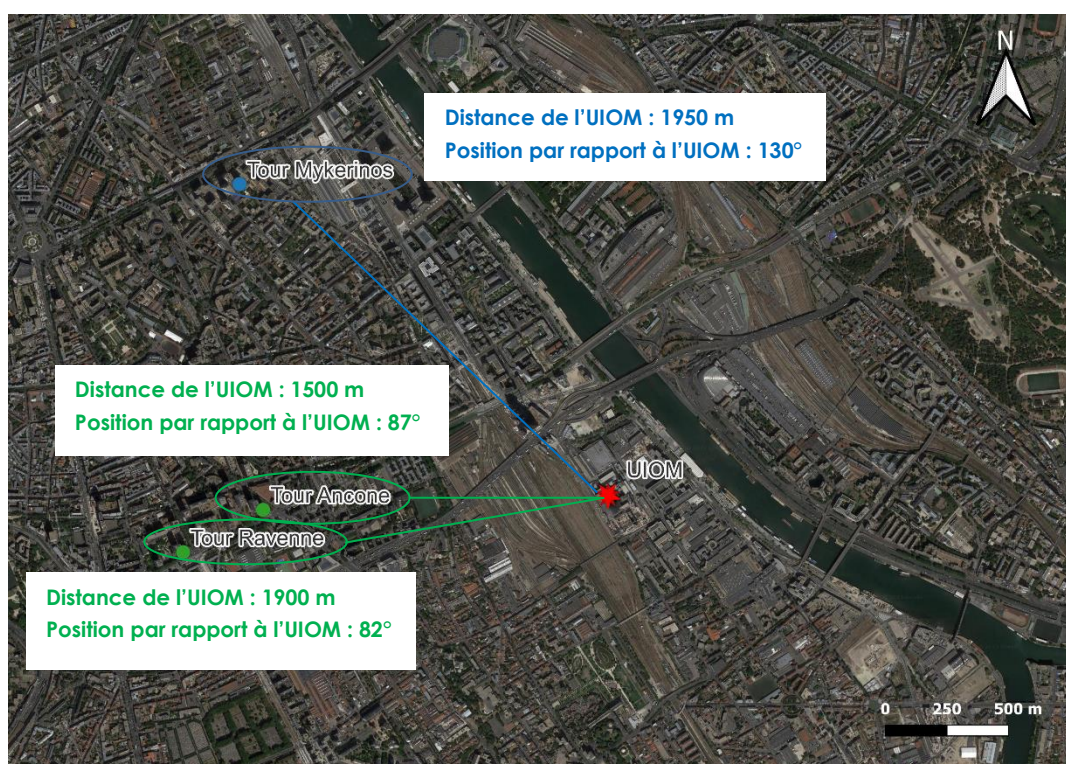


Figure 2 : Emplacement de l'UIOM et des tours du 13^e arrondissement instrumentées dans la présente étude.

Les tours choisies sont de même hauteur et permettent ainsi de réaliser des mesures au sommet à la même hauteur, soit environ 100 m. Deux d'entre elles (tour Ravenne et tour Ancône) sont dans une direction comparable de l'incinérateur avec une influence potentielle lors de régimes de vent de secteur « est » ~ 85° mais à des distances différentes (respectivement à 1900 m et à 1500 m). La tour Mykérinos est quant à elle à une distance comparable de l'incinérateur (~ 1900 m) que la tour Ravenne mais celle-ci est « sous le vent » de l'incinérateur lors des régimes de vent sud-est (130°).

Le secteur de vent selon lequel un point de mesure est « sous le vent » de l'installation est élargi de 30° de part et d'autre compte-tenu de la dispersion du panache et selon les méthodes de calcul proposées dans le guide de l'Ineris « Surveillance dans l'air autour des installations classées »². Ainsi,

¹ Secteur de vent plaçant le point de référence sous l'influence potentielle d'une source d'émissions, ici l'UIOM.
² https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/Ineris_Surveillancedansl%27Air_Guide_2021-%237_Web.pdf

un point de mesure placé « sous le vent » de l'installation par vent de secteur est (90°) est considéré pouvoir subir un impact potentiel par vents de secteurs 60° à 120°.

Le Tableau 1 résume les caractéristiques des différents sites de mesures : distance et position par rapport à l'UIOM, hauteur des mesures.

Sites de mesure	Distance à l'UIOM (m)	Position / UIOM (Degrés)	Secteurs de vent (+/-) d'influence	Hauteur des mesures
Tour Ravenne	1900	82°	55° - 115° (secteur est)	Sol, 100m
Tour Ancône	1500	87°	55° - 115° (secteur est)	Sol, 100 m
Tour Mykérinos	1950	130°	100° - 160° (secteur sud-est)	Sol, 50 m, 100 m

Tableau 1 : Caractéristiques des emplacements de mesures

Compte-tenu des difficultés de mise en œuvre du matériel de mesure, les emplacements au sol ont été mis dans la mesure du possible au plus près du pied des tours instrumentées.

3. Choix de la période de mesures

Les tours Ravenne et Ancône sont placées « sous le vent » de l'UIOM par vent de secteur « est » et la tour Mykérinos par vent de secteur sud-est. La rose de vents en Ile-de-France, établies par Météo-France sur des historiques entre 2015 et 2019, décrivent des vents dominants majoritairement de secteur sud-ouest, puis de secteur nord-est, comme l'illustre la Figure 3. Des roses de vents sur des périodes plus longues, de 10 ans et 20 ans, sont présentées en Annexe 2 et dessinent des profils comparables, avec des vents dominants de secteur sud-ouest et nord-est. Les tours instrumentées ne sont donc pas « sous les vents » dominants par rapport à l'UIOM.

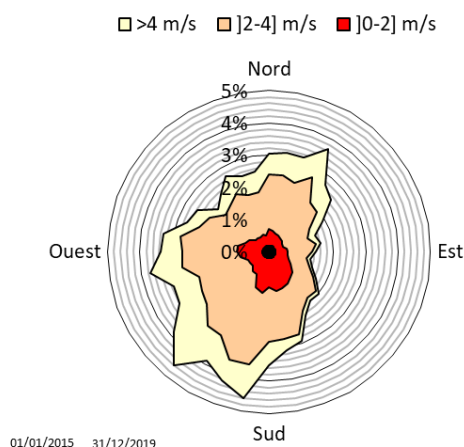


Figure 3 : Rose de vents sur 5 ans de 2015 à 2019 à Paris-Montsouris [Source Météo-France]

La période de mesures a donc été définie à partir d'une étude préalable sur un historique de 5 ans (de 2015 à 2019) des conditions météorologiques les plus favorables à l'observation du panache de l'UIOM au niveau des tours. Sur l'historique des 5 dernières années (Figure 3), les vents favorables à l'observation du panache sur les sites de mesures ont été observés 11 % du temps pour des secteurs de vents de 55° à 115° (secteurs plaçant les tours Ravenne et Ancône « sous le vent » de l'incinérateur) et 14 % pour des secteurs de vents de 100° à 160° (secteur plaçant la tour Mykérinos « sous le vent » de l'incinérateur).

En revanche, les vents dominants de secteur sud-ouest sont observés majoritairement avec 27 % du temps, et secondairement ceux de secteur nord-est pendant 19 % du temps.

L'étude historique des régimes de vent a permis de rechercher en moyenne sur les 5 années précédentes, les mois au cours desquels ont été observées :

- La plus grande fréquence de vents de secteurs 55° à 115° (observation du panache au niveau des tours Ravenne et Ancône sur un axe de vent élargi de 30° de part et d'autre) ;
- La plus grande fréquence de vents de secteurs 100° à 160° (observation du panache au niveau de la tour Mykérinos sur un axe de vent élargi de 30° de part et d'autre) ;
- La plus grande fréquence de vents de vitesses intermédiaires (2 à 4 m/s) de façon à éviter une trop grande stabilité des masses d'air (stabilité du panache) ou au contraire une trop grande dispersion (dispersion du panache avec le vent). La plus grande fréquence de conditions de stabilité atmosphérique moyenne est ainsi privilégiée³.

Les périodes réunissant les conditions d'apparition les plus favorables sont d'après l'historique observées au mois d'avril, octobre et décembre.

Une période de six semaines couvrant le mois de décembre 2021 a ainsi été retenue.

4. Mise en œuvre de la campagne de mesures

4.1 Implantation des capteurs sur les tours

La Figure 4 schématise l'implantation des capteurs sur chacune des tours.

La tour Ravenne a été équipée de mesures automatiques de NO₂, de particules PM₁₀ et PM_{2.5} au sol et au sommet (Cf. Figure 5). La tour Ancône, située dans le même axe par rapport à l'UIOM mais à une distance moindre, a été équipée de micro-capteurs permettant la mesure du NO₂, au sol et au sommet. La tour Mykérinos a reçu les mêmes équipements que la tour Ancône, avec une mesure supplémentaire à une hauteur intermédiaire.

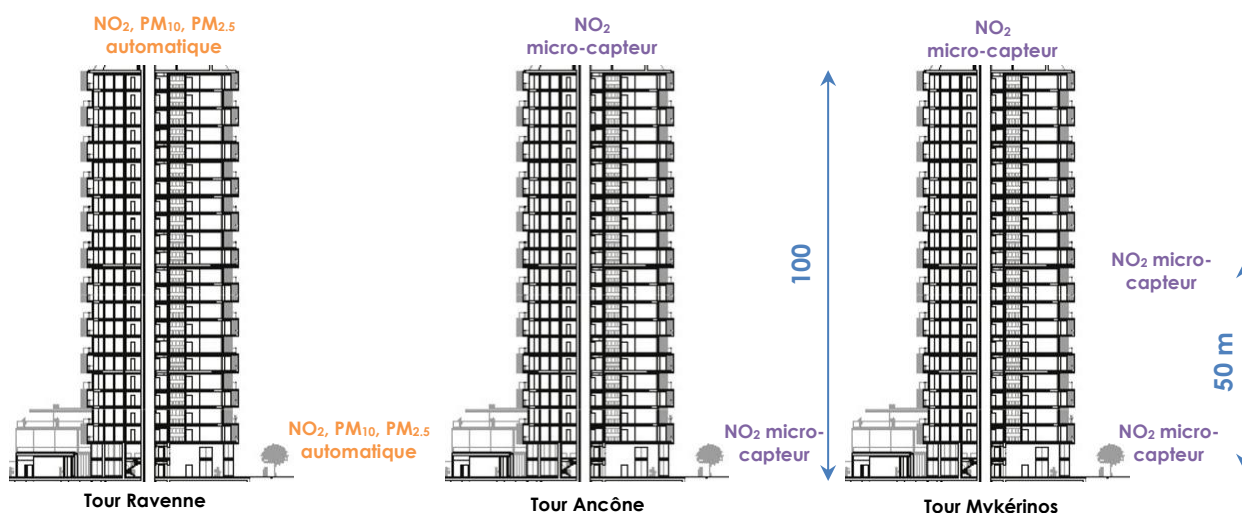


Figure 4 : Répartition des mesures au niveau des trois tours (Ravenne, Ancône et Mykérinos)

³ La stabilité atmosphérique a été étudiée à partir d'un indicateur de la dispersion et/ou accumulation des polluants. Afin de caractériser au mieux la dispersion des polluants atmosphériques, Météo France a développé un indicateur régional journalier de stabilité atmosphérique, qui dépend des vitesses de vent et d'autres paramètres comme les variations thermiques suivant l'altitude, ainsi que la température minimale de la journée. Cet indicateur est présenté sous forme d'un indice pouvant varier de -7 à 7. Plus il est positif, plus les phénomènes de stabilité et d'accumulation sont forts et donc la dispersion des polluants est faible. Les périodes d'intérêt ont été choisies préférentiellement parmi celles au cours desquelles l'indicateur de stabilité atmosphérique était compris entre -2 et +2.



Figure 5 : Illustration de la station de mesure installée au sommet de la tour Ravenne permettant la mesure du dioxyde d'azote (NO₂) et des particules PM₁₀ et PM_{2.5}.

Les axes de circulation sont à distance suffisante des points de mesures pour y réaliser des mesures de fond (représentatives d'un large secteur car non influencées directement par une source d'émissions de polluant comme celle du trafic routier) sur l'ensemble de ces sites.

Les stations de fond du réseau permanent d'Airparif situées à Paris 13^{ème} et à Paris 1^{er} Les Halles représentent les sites de référence afin de comparer les niveaux relevés à ceux mesurés au niveau des tours instrumentées.

5. Résultats des mesures

5.1 Période de mesures

Les mesures ont été réalisées **du 22 novembre 2021 au 9 janvier 2022** sur l'ensemble des sites de mesure.

5.2 Conditions météorologiques

Les commentaires météorologiques s'appuient sur les observations (vitesse et direction de vent) de la station météorologique de Météo-France de Montsouris implantée dans le 14^{ème} arrondissement de Paris. Cette station météorologique est représentative d'un large secteur (station synoptique), dont le secteur d'étude.

La Figure 6 représente la rose des vents sur la période du 22 novembre 2021 au 9 janvier 2022, au regard des roses moyennes sur l'historique 2015 – 2019 des mois de novembre, décembre et janvier (Figure 7).

Les secteurs en rouge indiquent les vents les plus faibles, favorables à l'accumulation de la pollution atmosphérique (vitesses de vent comprises entre 0,1 m/s et 2 m/s), et en jaune les régimes de vent les plus dispersifs (vitesses supérieures à 4 m/s).

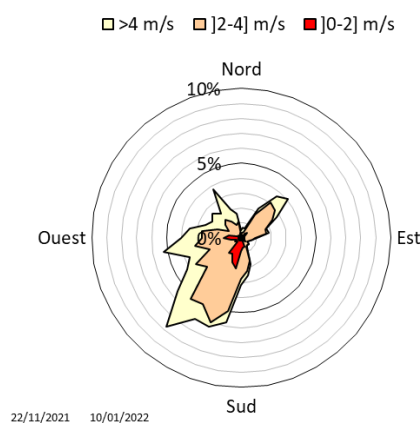


Figure 6 : Rose des vents au cours de la période de mesures, du 22 novembre 2021 au 9 janvier 2022

[Source Météo-France – Station Paris-Montsouris]

La période de mesure a été caractérisée par une majorité de vents de secteur sud à sud-ouest, et dans une moindre mesure, de vents de secteur nord-est. Ces secteurs de vent sont représentatifs des vents dominants de la région Ile-de-France en cette période de l'année. La répartition en termes de vitesses de vent est également comparable à celle des historiques, avec une majorité de vents de plus de 2 m/s.

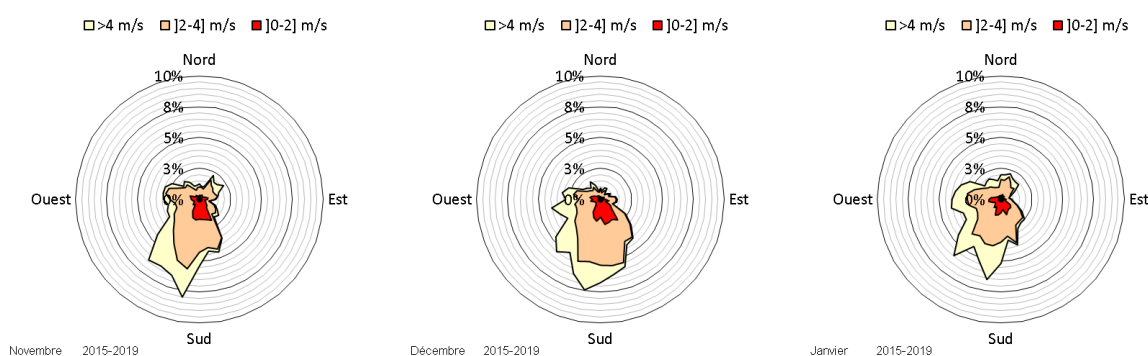


Figure 7 : Roses des vents sur l'historique 2015 – 2019, pour les mois de novembre, décembre, janvier

[Source Météo-France – Station Paris-Montsouris]

Le Tableau 2 résume les fréquences d'apparition de secteurs de vents, avec un angle de +/-30°, au cours desquelles chaque tour était « sous le vent » de l'UIOM, puis les fréquences des vents dominants, d'une part pendant la campagne de mesure, d'autre part en moyenne sur les mois de décembre des années 2015 à 2019 (fréquences moyennes attendues au cours de la campagne).

Secteurs de vent	Qualification	Fréquence pendant la campagne	Fréquence moyenne sur les mois de décembre 2015-2019
55° - 115° (Secteur est)	Tours Ravenne et Ancône sous le vent de l'UIOM	9%	9%
100° - 160° (Secteur sud-est)	Tour Mykérinos sous le vent de l'UIOM	6%	22%
190° - 250° (secteur sud-ouest)	Vents dominants principaux	40%	36%
10° - 70° (secteur nord-est)	Vents dominants secondaires	16%	6%

Tableau 2 : Fréquence d'apparition des vents attendus et des vents dominants

Les secteurs de vents plaçant les tours Ravenne et Ancône sous le vent de l'UIOM (55° - 115°) ont été à la hauteur des vents attendus (9 %). En revanche, seulement 6 % des vents de la période de mesure ont placé la tour Mykérinos « sous le vent » de l'UIOM. Les vents dominants principaux ont été très nombreux (40 % pour une moyenne de 36 % sur les mois de décembre 2015 à 2019), et les vents dominants secondaires ont été plus nombreux pendant la campagne (16 %) que sur l'historique de 5 ans (6 %).

Les conditions de dispersion ont été conformes à celles attendues par rapport à l'historique 2015 – 2019 : Des conditions moyennes de dispersion ont été observées pendant 84 % de la durée de l'étude, soit de manière plus accentuée qu'en moyenne sur les mois de décembre de l'historique (74 %).

5.3 Périodes de fonctionnement de l'UIOM

Le Tableau 3 présente les régimes de fonctionnement de l'UIOM pendant la période de mesures.

	Lun.	Mar.	Mer.	Jeu.	Ven.	Sam.	Dim.	Lun.	Mar.	Mer.	Jeu.	Ven.	Sam.	Dim.
Jour	22-nov.-21	23-nov.-21	24-nov.-21	25-nov.-21	26-nov.-21	27-nov.-21	28-nov.-21	29-nov.-21	30-nov.-21	1-déc.-21	2-déc.-21	3-déc.-21	4-déc.-21	5-déc.-21
GFC1	M	m.	M	M	m.	m.	M	m.	M	M	M	M	m.	m.
GFC2	m.	m.	M	M	m.	m.	m.	M	M	M	m.	m.	m.	m.

	Lun.	Mar.	Mer.	Jeu.	Ven.	Sam.	Dim.	Lun.	Mar.	Mer.	Jeu.	Ven.	Sam.	Dim.
Jour	6-déc.-21	7-déc.-21	8-déc.-21	9-déc.-21	10-déc.-21	11-déc.-21	12-déc.-21	13-déc.-21	14-déc.-21	15-déc.-21	16-déc.-21	17-déc.-21	18-déc.-21	19-déc.-21
GFC1	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	M	BC	BC	BC	BC	BC	BC
GFC2	M	m.	m.	M	m.	m.	m.	m.	m.	M	M	M	BC	BC

	Lun.	Mar.	Mer.	Jeu.	Ven.	Sam.	Dim.	Lun.	Mar.	Mer.	Jeu.	Ven.	Sam.	Dim.
Jour	20-déc.-21	21-déc.-21	22-déc.-21	23-déc.-21	24-déc.-21	25-déc.-21	26-déc.-21	27-déc.-21	28-déc.-21	29-déc.-21	30-déc.-21	31-déc.-21	1-janv.-22	2-janv.-22
GFC1	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC
GFC2	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC	BC

	Lun.	Mar.	Mer.	Jeu.	Ven.	Sam.	Dim.
Jour	3-janv.-22	4-janv.-22	5-janv.-22	6-janv.-22	7-janv.-22	8-janv.-22	9-janv.-22
GFC1	BC	BC	m.	m.	m.	m.	m.
GFC2	BC	BC	BC	BC	BC	BC	T

M Marche normale	BC Baisse de charge	AP Arrêt programmé
T Phase transitoire démarrage / arrêt	m. QV < 120 t/h	AF Arrêt fortuit

Tableau 3 : Périodes de fonctionnement de l'UIOM du 22/11/21 au 09/01/22 [Source System]

Le four 1 a fonctionné en régime normal pendant 27 jours, soit 55 % du temps de la période de mesure (incluant les jours où la production moyenne de vapeur a été inférieure à 120 t/h). Il a fonctionné en baisse de charge les 45 % du temps restants, du 14 décembre 2021 au 4 janvier 2022. Le four 2 a fonctionné en régime normal (dont les jours où la production moyenne de vapeur a été inférieure à 120 t/h) pendant 26 jours, soit 53 % du temps de la période de mesure. Il a fonctionné en phase transitoire 1 journée le 9 janvier, soit 2 % du temps, et en baisse de charge les 45 % du temps restants, du 18 décembre 2021 au 8 janvier 2022.

Les deux fours étaient en baisse de charge simultanément du 18 décembre 2021 au 4 janvier 2022. Il n'y a eu aucun arrêt complet de l'installation.

5.4 Résultats des mesures sur la durée totale de la campagne

5.4.1 Dioxyde d'azote (NO₂) : une décroissance des teneurs avec la hauteur

La Figure 8 présente les concentrations moyennes en NO₂ sur les tours du secteur Masséna : la tour Ravenne et la tour Ancône, relevées au niveau du sol et du sommet sur la durée totale de l'étude.

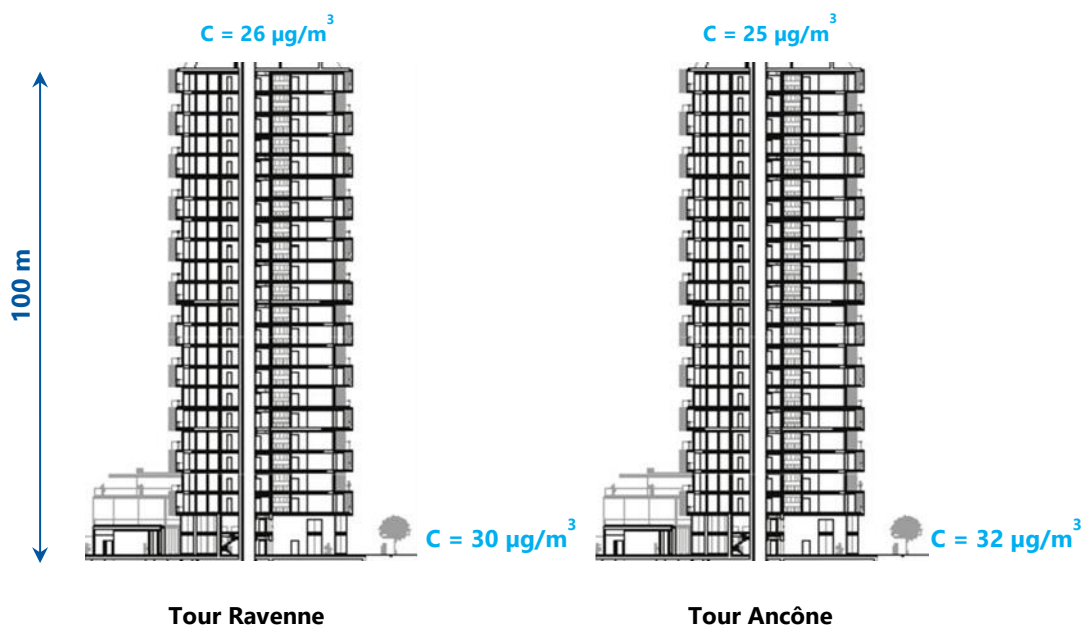


Figure 8 : Concentrations moyennes en NO₂ au niveau des deux tours du secteur Masséna (tours Ravenne et Ancône) sur la période totale

La Figure 9 présente les concentrations moyennes en NO₂ sur la tour Mykérinos relevées au niveau du sol, du milieu et du sommet, sur la durée totale de l'étude.

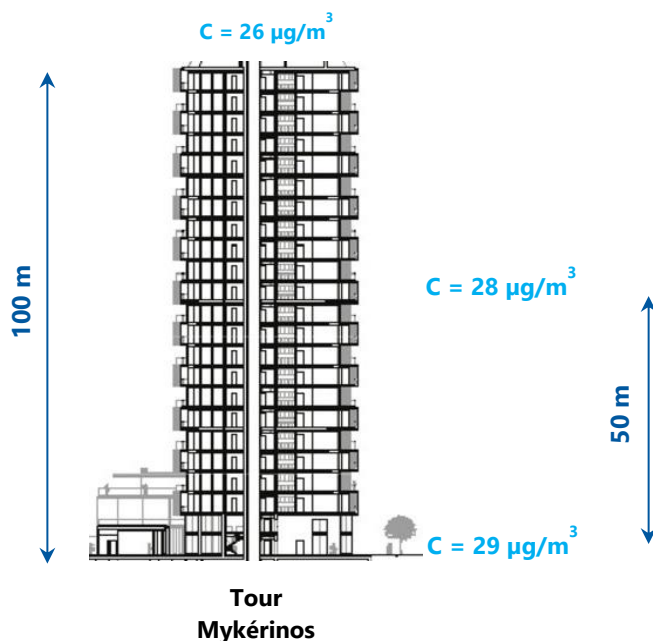


Figure 9 : Concentrations moyennes en NO₂ au niveau de la tour Mykérinos sur la période totale

Le Tableau 4 résume les concentrations moyennes en NO₂ relevées aux différentes altitudes des trois tours, et des stations de référence (stations de fond situées au niveau du sol) de Paris 13^{ème} et de Paris 1^{er} Les Halles.

Concentration de NO ₂ par site en µg/m ³	Ravenne	Ancône	Mykérinos	Paris 13 ^{ème}	Paris 1 ^{er} Les Halles
Sommet	26	25	26		
Milieu			28		
Sol	30	32	29	27	30
Sommet/Sol	-13%	-22%	-10%		
Milieu/Sol			-3%		
Sommet/Milieu			-7%		

Tableau 4 : Concentrations de NO₂ et écarts entre les différentes altitudes

Sur les trois tours instrumentées, les concentrations en NO₂ sont en moyenne équivalentes au sommet (à 100 mètres du sol) : 26 µg/m³ sur les tours Ravenne et Mykérinos, 25 µg/m³ sur la tour Ancône, la plus proche de l'UIOM.

Les concentrations relevées sont également de même ordre de grandeur au niveau du sol : 32 µg/m³ au pied de la tour Ancône, 30 µg/m³ au pied de la tour Ravenne et 29 µg/m³ au pied de la tour Mykérinos. Un écart de 2 µg/m³ entre les tours Ancône et Ravenne est observé. La tour Ancône est plus proche du trafic routier avec sa proximité au boulevard Masséna et à l'avenue d'Ivry, pouvant influencer le niveau de NO₂ de ce secteur. Les concentrations de NO₂ aux stations de fond d'Airparif de Paris 13^{ème} et de Paris 1^{er} Les Halles présentent des teneurs comparables à celles relevées aux pieds des tours avec respectivement des teneurs de 27 µg/m³ et de 30 µg/m³.

Les gradients de concentrations de NO₂ entre le sommet et le pied des tours en moyenne sur la période totale sont négatifs sur les trois tours : ils varient de -3 µg/m³ (tour Mykérinos) à -7 µg/m³ (tour Ancône) soit de -10 % à -22 %.

Sur la tour Mykérinos, la concentration de NO₂ à une altitude de 50 mètres (28 µg/m³) est intermédiaire entre celle du sol (29 µg/m³) et celle du sommet (26 µg/m³). A la lecture de ces valeurs, le gradient est plus élevé entre 50 m et 100 m (2 µg/m³) qu'entre le sol et 50 m (1 µg/m³), cependant, ces écarts sont très faibles.

Les teneurs au fur et à mesure que l'on s'éloigne du sol sont de plus en plus faibles pour atteindre les niveaux moyens les plus faibles aux sommets des tours. L'éloignement aux sources d'émissions et les conditions dispersives plus importante avec la hauteur engendre les niveaux mesurés les plus faibles. Toutefois l'écart entre le sol et le sommet (compris entre 10 % et 22 %) est relativement modéré sachant que les points de mesures implantés au sol au niveau des tours sont en situation de fond, c'est-à-dire éloigné de l'influence directe du trafic routier. Le gradient en situation de fond est ainsi plus faible qu'à proximité du trafic routier (où les teneurs de NO₂ sont les plus élevées).

A l'aide des mesures au pas de temps d'une heure enregistrées lors de la campagne, une analyse fine permet d'étudier l'impact potentiel des émissions de l'UIOM en fonction des régimes de vent. Ainsi, la différence, pour chaque heure, entre les niveaux de dioxyde d'azote sur le site de mesure implanté au sommet de la tour et celui instrumenté au niveau du sol est calculée afin de mettre en relief l'impact potentiel de l'UIOM. Cette différence peut ensuite être représentée sous forme de « rose d'impact de pollution ». Elle permet de visualiser l'éventuel surcroît de polluant en fonction de l'origine des vents. La direction du vent est renseignée selon 36 secteurs de 10°.

Lorsque la partie contournée de bleu foncé se trouve à l'intérieur de la partie grisée de la rose d'impact de pollution cela signifie que des niveaux plus faibles sont mesurés au sommet de la tour (écart négatif). A l'inverse, lorsque la partie contournée de bleu dépasse la partie grisée, un surcroît de pollution au sommet de la tour par rapport aux teneurs mesurées au sol est observé (écart positif). De plus, un impact de zéro signifie que pour le secteur de vent considéré, en moyenne le niveau de polluant dans l'air ambiant sur le site au sommet est similaire à celui situé en bas de la tour. Les roses d'impact permettent de mettre en relief les régimes de vent pour lesquels les sites d'étude peuvent être impactés par des sources émettrices de polluants. La rose d'impact pointe la direction d'où vient la pollution.

La Figure 10 illustre ainsi les roses d'impact de NO₂ entre le sol et le sommet des trois tours instrumentées (Mykérinos, Ravenne et Ancône) sur la durée totale de la campagne.

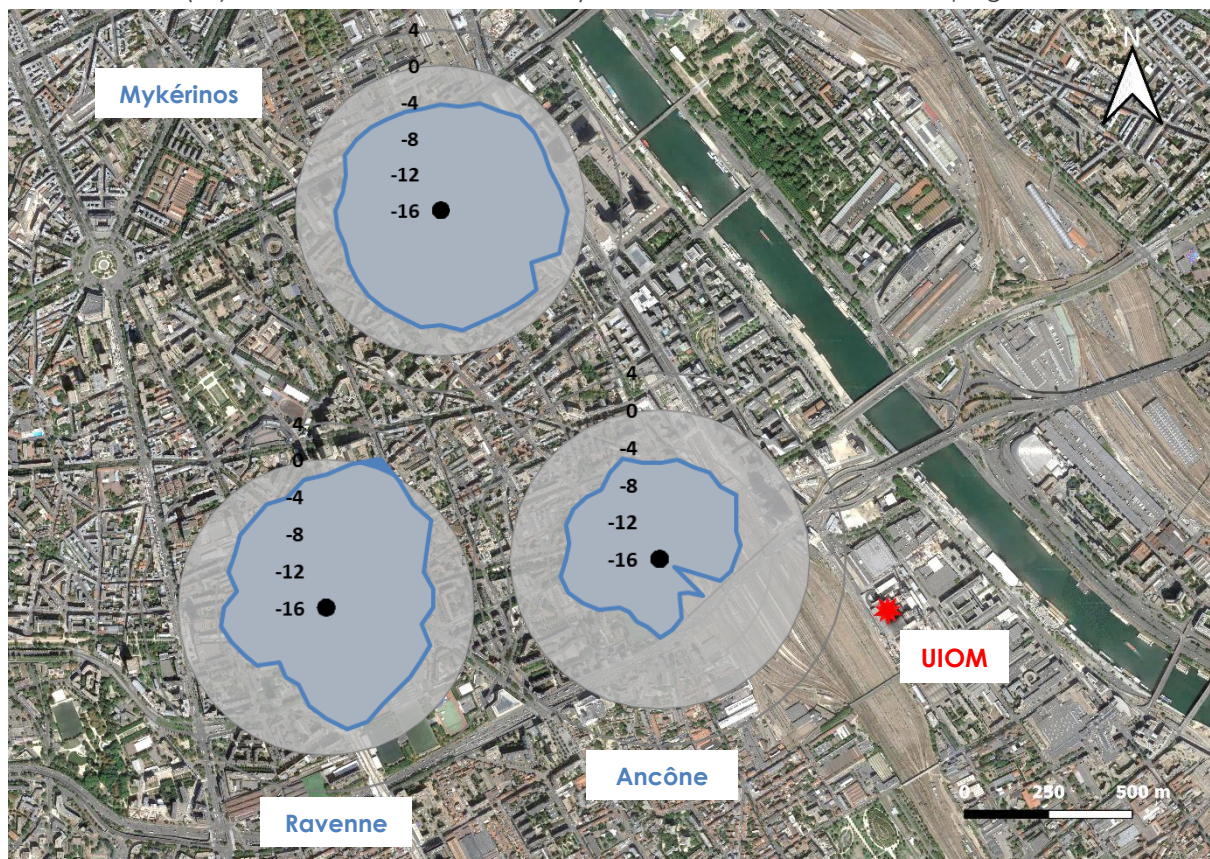


Figure 10 : Roses d'impact en NO₂ sur les tours instrumentées sur la durée totale de la campagne

Parmi les roses d'impact illustrant la différence entre le sommet et le sol selon les secteurs de vent, seule la rose de la tour Ravenne présente une très légère surconcentration de 1 µg/m³ par vent de secteur nord-nord-est (20°), qui ne correspond pas aux vents venant de l'UIOM. Cela a été que très ponctuel, le 22 novembre entre 2h et 8h les concentrations en NO₂ relevées au sommet sont légèrement supérieures (écart <1 µg/m³), ces dépassements sont également observés et plus marqués, sur quelques heures les 24 et 25 novembre (cf. Figure 11).

La Figure 11 présente les teneurs de NO₂ mesurées toutes les heures entre le 22 et le 28 novembre au sommet (pointillés bleus) et au sol (courbe orange) de la tour Ravenne. Cette figure illustre la période durant laquelle les teneurs sont légèrement supérieures au sommet. Lors de ces périodes, les régimes de vent ne placent pas les tours sous le vent des émissions de l'incinérateur.

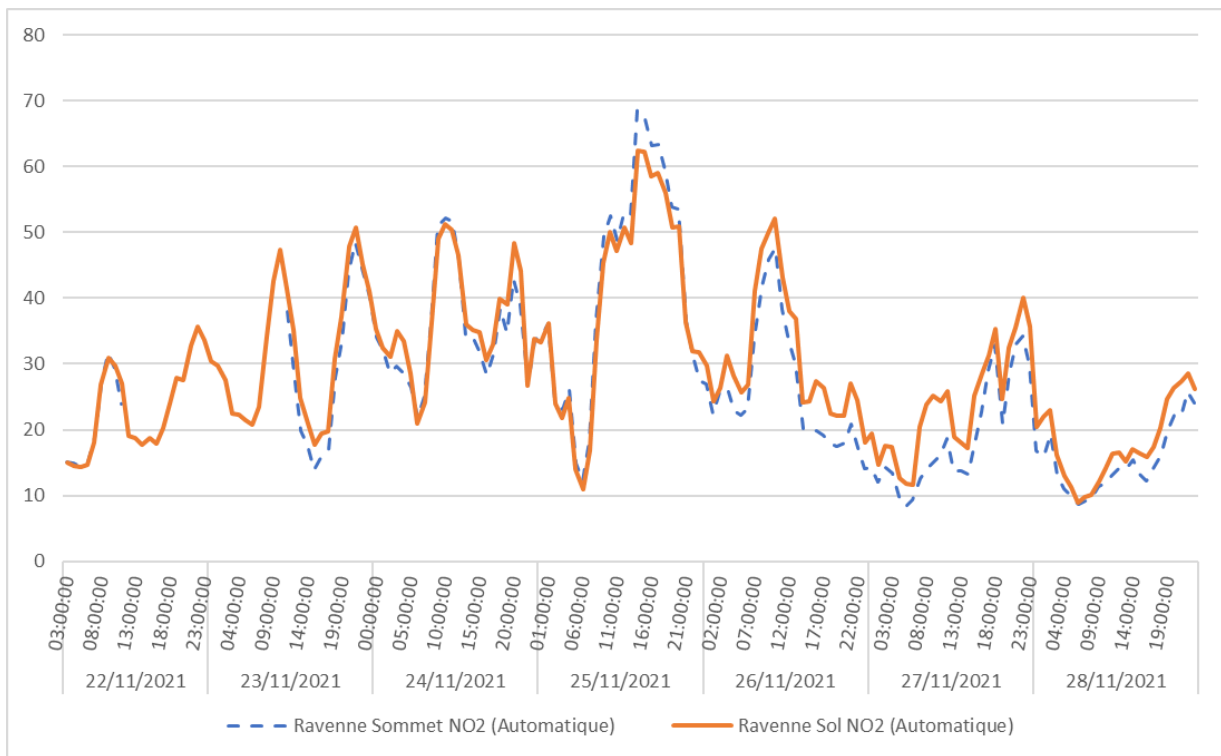


Figure 11 : Evolution des concentrations en NO₂ sur la période du 22 au 28 novembre au niveau du sol et du sommet de la tour Ravenne

Hormis cette spécificité, les roses d'impact présentent des teneurs inférieures au sommet pour l'ensemble des directions de vent et de manière relativement homogène. Lors de régimes de vent plaçant les tours sous l'influence potentielle des émissions de l'incinérateur, les teneurs relevées au sommet des tours restent inférieures à celles du sol.

Les concentrations au sommet de la tour Ancône sont en moyenne de 6 à 8 µg/m³ inférieures aux concentrations relevées au sol quelle que soit la direction du vent. Par vent de secteur est plaçant la tour sous l'influence potentielle de l'incinérateur, les teneurs mesurées au sommet de la tour présentent le même gradient de baisse que pour les autres directions de vent. Lors de la campagne de mesure, il n'y a ainsi pas eu d'impact des émissions de l'incinérateur sur les teneurs mesurées au sommet de la tour Ancône. Ce constat est similaire pour ces mêmes régimes de vent de secteur est sur la tour Ravenne, où la différence des teneurs de NO₂ entre le sommet et le sol n'est pas plus élevé.

La tour Mykérinos est quant à elle potentiellement influencée par les émissions de l'incinérateur lors de vent de secteur sud-est. La différence de teneurs de NO₂ entre le sommet et le sol lors de ces régimes de vent ne présente pas de spécificité. Les teneurs sont au sommet de la tour plus faibles qu'au sol quelle que soit la direction du vent de l'ordre de 2 à 4 µg/m³.

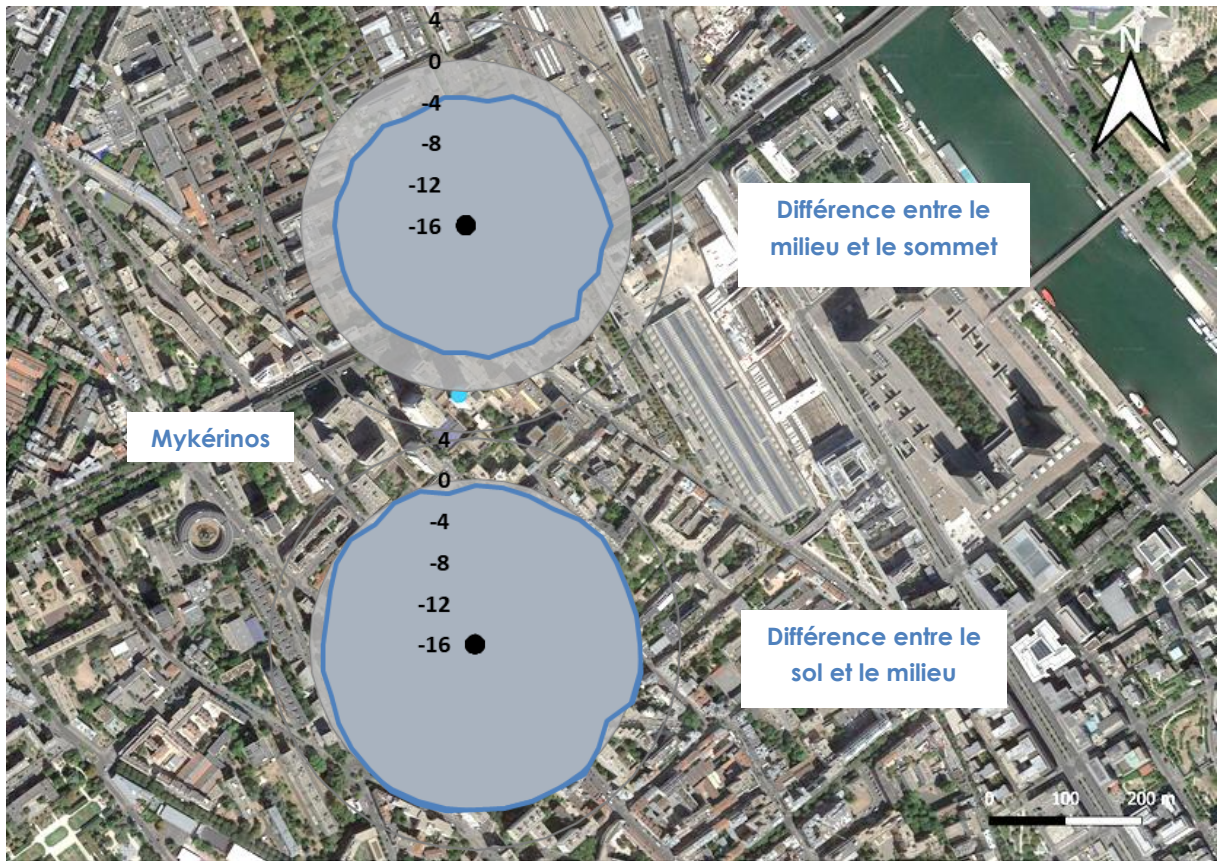


Figure 12 : Roses d'impact en NO₂ entre les différentes altitudes (sol-sommet-milieu) de la tour Mykérinos sur la durée totale de la campagne

La tour Mykérinos étant instrumentée d'un moyen de mesure de NO₂ en son milieu, à une hauteur d'environ 50 m, l'analyse de l'impact potentiel des émissions de l'incinérateur peut être faite de manière plus fine afin de vérifier si la décroissance des teneurs avec la hauteur est réelle sur toute la hauteur de la tour quel que soit le régime de vent.

La différence de concentrations entre le milieu de la tour et le sol est très peu marquée. Pour l'ensemble des régimes de vent, la différence de teneur est proche de zéro. Au sommet, les teneurs sont plus faibles à la fois par rapport au sol et au milieu de la tour pour l'ensemble des régimes de vent.

5.4.2 Particules PM₁₀

La

Figure 13 présente les concentrations en particules PM₁₀ sur le site de mesures de la tour Ravenne, en moyenne sur la durée totale de l'étude (à gauche) ainsi que la rose d'impact pour ce polluant entre le sommet et le sol de la tour Ravenne sur la durée totale de la campagne (à droite).

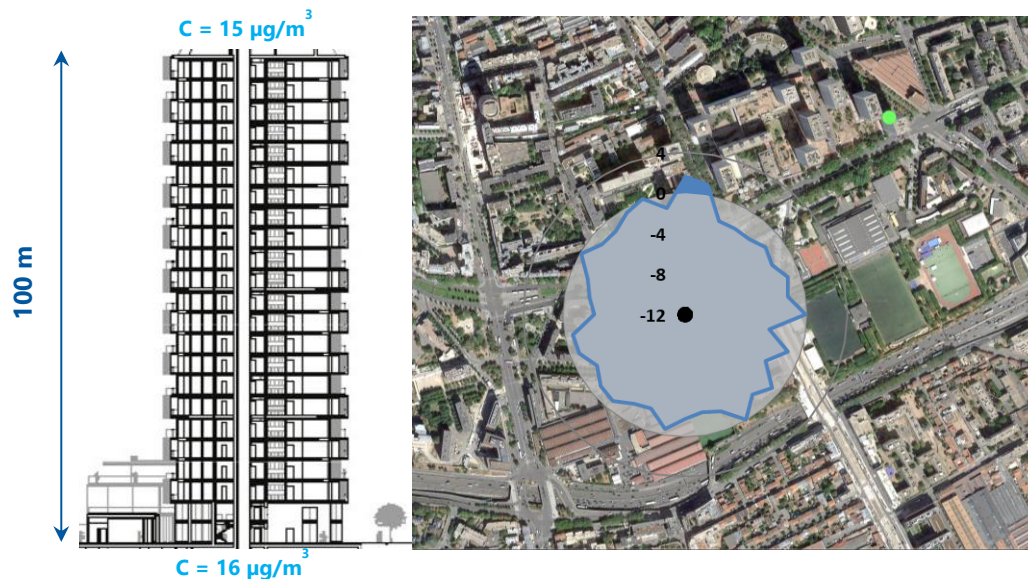


Figure 13 : A gauche : concentrations moyennes en particules PM₁₀ sur la tour Ravenne au sol et au sommet sur la période totale des mesures. A droite : rose d'impact pour ce polluant entre le sommet et le sol sur la durée totale de la campagne

La moyenne a été de $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au sol, et de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au sommet. À titre de comparaison, la moyenne en PM₁₀ pendant la même période a été de $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ également sur la station de fond de Paris 1^{er} (le réseau Airparif ne présente pas de mesures de particules à Paris 13^{ème}).

La rose d'impact de pollution indique, qu'en moyenne sur la durée totale de la campagne, les concentrations au sommet de la tour Ravenne sont légèrement inférieures à celles du sol, à l'exception des vents de secteur nord où un faible impact de 1 à $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est observé. Ce secteur de vent ne place pas la tour Ravenne sous le vent de l'UIOM, il s'agit d'un impact très ponctuel localisé au sommet de la tour.

5.4.3 Particules PM_{2.5}

La Figure 14 présente les concentrations en particules PM_{2.5} sur le site de mesures de la tour Ravenne, en moyenne sur la durée totale de l'étude (à gauche) ainsi que la rose d'impact pour ce polluant entre le sommet et le sol de la tour Ravenne sur la durée totale de la campagne (à droite).

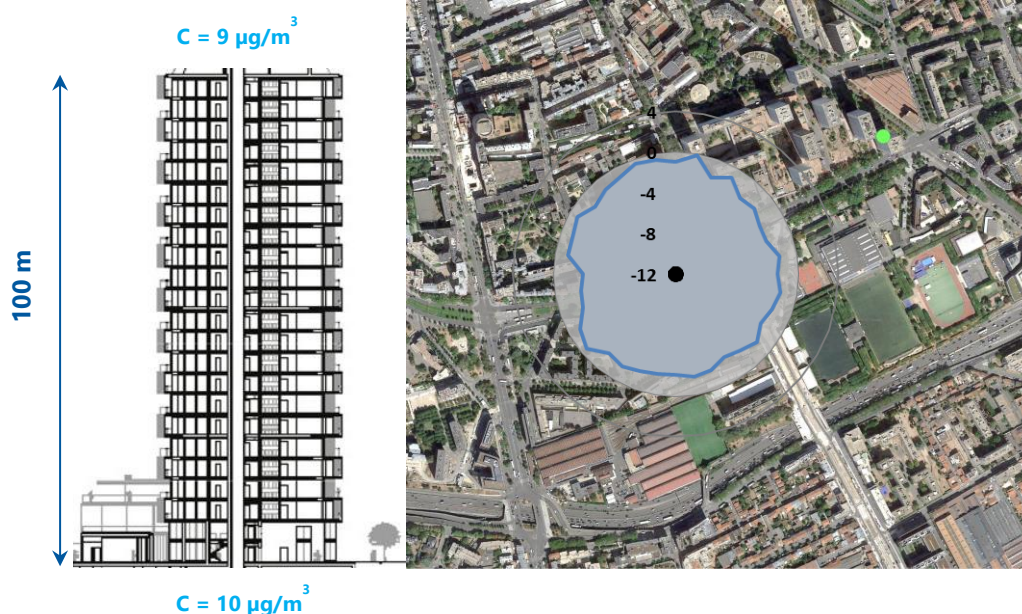


Figure 14 : A gauche : concentrations moyennes en particules PM_{2.5} sur la tour Ravenne au sol et au sommet sur la période totale des mesures. A droite : rose d'impact pour ce polluant entre le sommet et le sol sur la durée totale de la campagne

La moyenne a été de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au sol, et de $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au sommet. À titre de comparaison, la moyenne en $\text{PM}_{2.5}$ pendant la même période a été de $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur la station de fond de Paris 1^{er} (le réseau Airparif ne présente pas de mesures de particules à Paris 13^{ème}).

Contrairement aux particules PM_{10} , il n'a pas été observé d'impact en particules $\text{PM}_{2.5}$ en moyenne sur la durée totale de la campagne. Par vent d'est, sous l'influence potentielle de l'incinérateur, les teneurs restent inférieures au sommet et de même ampleur que pour les autres régimes de vent.

Pour les particules PM_{10} et $\text{PM}_{2.5}$, la concentration moyenne sur la durée totale de la campagne est légèrement moindre au sommet de la tour Ravenne ($1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et il n'a pas été observé d'influence sur les concentrations des émissions de l'incinérateur.

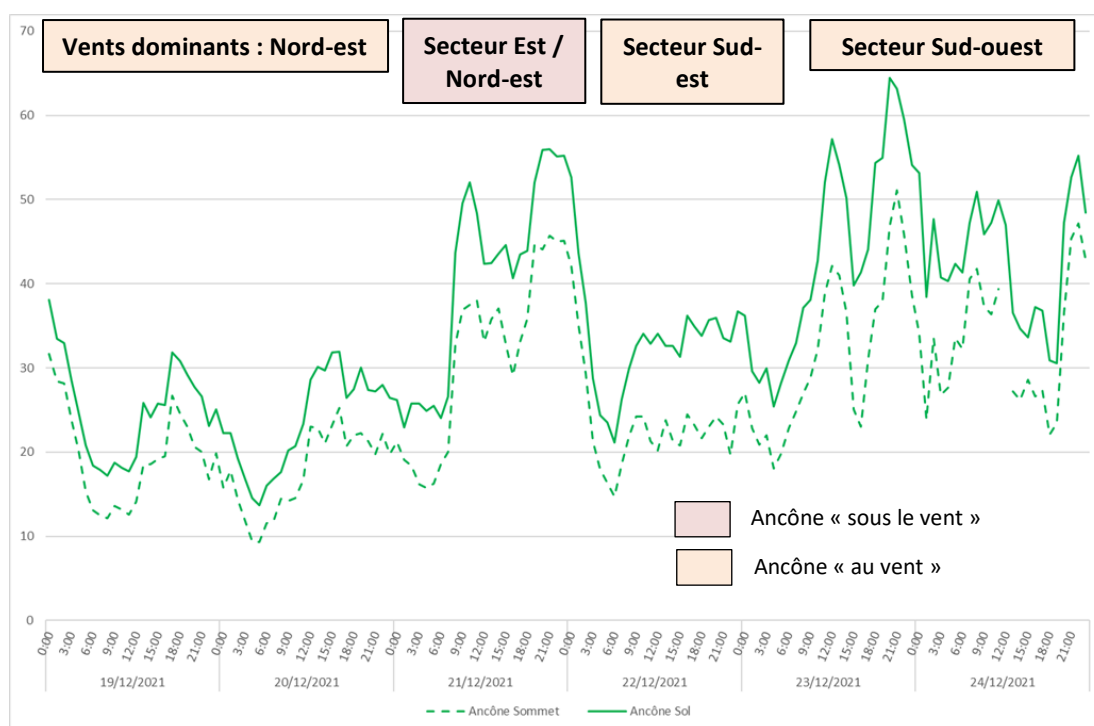
5.5 Zooms la période du 19 au 24 décembre

5.5.1 Dioxyde d'azote (NO_2)

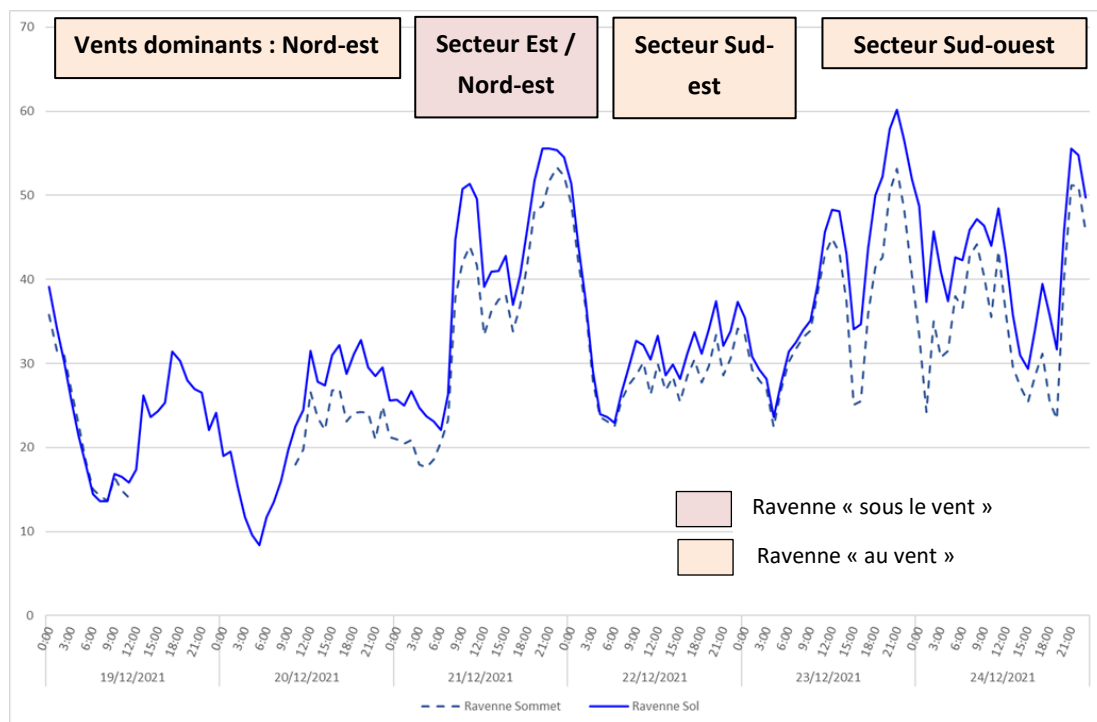
La période du 19 au 24 décembre présente une assez faible dispersion avec des vents intermédiaires aux vitesses comprises majoritairement entre 2 et 4 m/s. Ces vents proviennent de secteurs variés permettant d'étudier les différences des teneurs entre le sol et le sommet des tours lorsque celles-ci sont sous l'influence (« sous le vent ») ou non (« au vent ») des émissions de l'incinérateur.

Les figures suivantes présentent l'évolution des concentrations en NO_2 sur la période du 19 au 24 décembre 2021 au niveau du sol (trait plein) et du sommet (trait pointillé) pour chaque tour instrumentée.

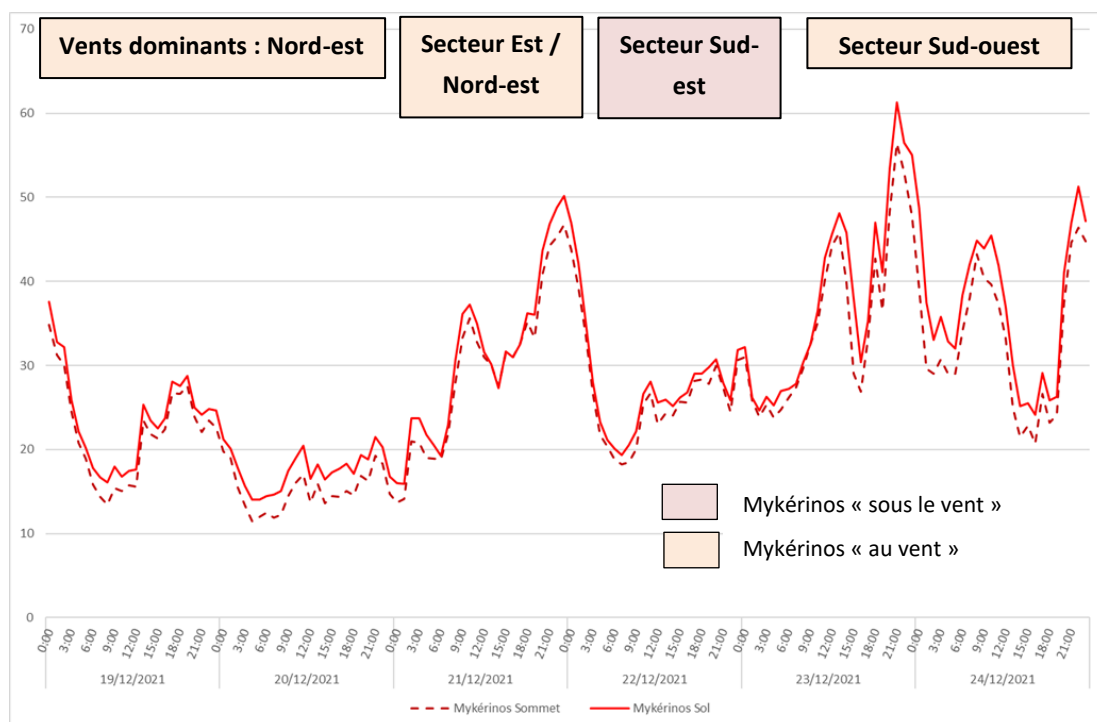
Les deux jours de l'UIOM fonctionnent en baisse de charge du 18 décembre 2021 au 24 décembre 2021.



a) Tour Ancône



b) Tour Ravenne



c) Tour Mykérinos

Figure 15 : Concentrations moyennes en NO₂ sur l'ensemble des sites de mesures sur la période du 19 au 24 décembre 2022, (a) Tour Ancône (b), Tour Ravenne et (c) Tour Mykérinos

Les évolutions de concentrations sur l'ensemble des tours présentent les mêmes profils, liées à la fois à l'ampleur des émissions de polluants au sein du cœur de l'agglomération parisienne et aux conditions météorologiques plus ou moins favorables à la dispersion atmosphérique.

Au niveau de la tour Ancône, les concentrations relevées au sol sont, sur l'ensemble de la période, supérieures à celles mesurées au sommet. Lors de vent de secteur est, plaçant la tour sous l'influence potentielle de l'incinérateur, l'ampleur des différences de concentration entre le sommet et le sol reste similaire. L'évolution de la différence de concentrations reste similaire quel

que soit le régime de vent ce qui démontre que les émissions de l'incinérateur n'engendrent pas d'impact au sommet de la tour lors de cette période.

Cet écart de concentrations est également observé au niveau de la tour Ravenne. Il est moins marqué, sachant que les teneurs au sol sont légèrement plus faibles qu'à celles enregistrées à la tour Ravenne. Toutefois, le constat est identique, avec une hiérarchie entre les teneurs au sol et celles enregistrées au sommet similaire quel que soit le régime de vent plaçant ou non la tour sous l'influence potentielle des émissions de l'incinérateur.

Sur la tour Mykérinos la différence entre le sol et le sommet est encore plus faible du fait de teneurs au sol moins élevées qu'au niveau des tours du quartier Masséna. L'écart moyen entre le sol et le sommet est plus faible sur l'ensemble de la période de mesure et de la même manière du 19 au 24 décembre même lors de vents de secteur sud-est, régime de vent plaçant la tour « sous le vent » des émissions de l'incinérateur.

Ainsi, cette période illustre des changements de régimes de vent plaçant ou non les tours sous l'influence potentielle de l'incinérateur. Les différences entre les teneurs de NO₂ mesurées entre le sol et le sommet restent identiques tout au long de la période même lors de secteurs plaçant les tours sous le vent de l'incinérateur. Ces secteurs de vent n'engendrent pas de changements de hiérarchie des niveaux de NO₂ ni une évolution de l'amplitude des écarts entre le sommet (concentrations les plus faibles) et le sol (concentrations les plus fortes).

5.5.2 Particules PM₁₀

Cette même période de mesure a été retenue pour comparer les concentrations relevées en particules PM₁₀ du 19 au 24 décembre 2022, avec des régimes de vent variés et peu dispersifs d'un large secteur d'est, du nord-est à sud-est, à sud-ouest plaçant ou non les tours sous l'influence potentielle des émissions de l'incinérateur.

La Figure 16 présente les concentrations moyennes en particules PM₁₀ à la tour Ravenne (seule tour équipée de mesures de particules) au niveau du sol (trait plein) et du sommet (trait pointillé).

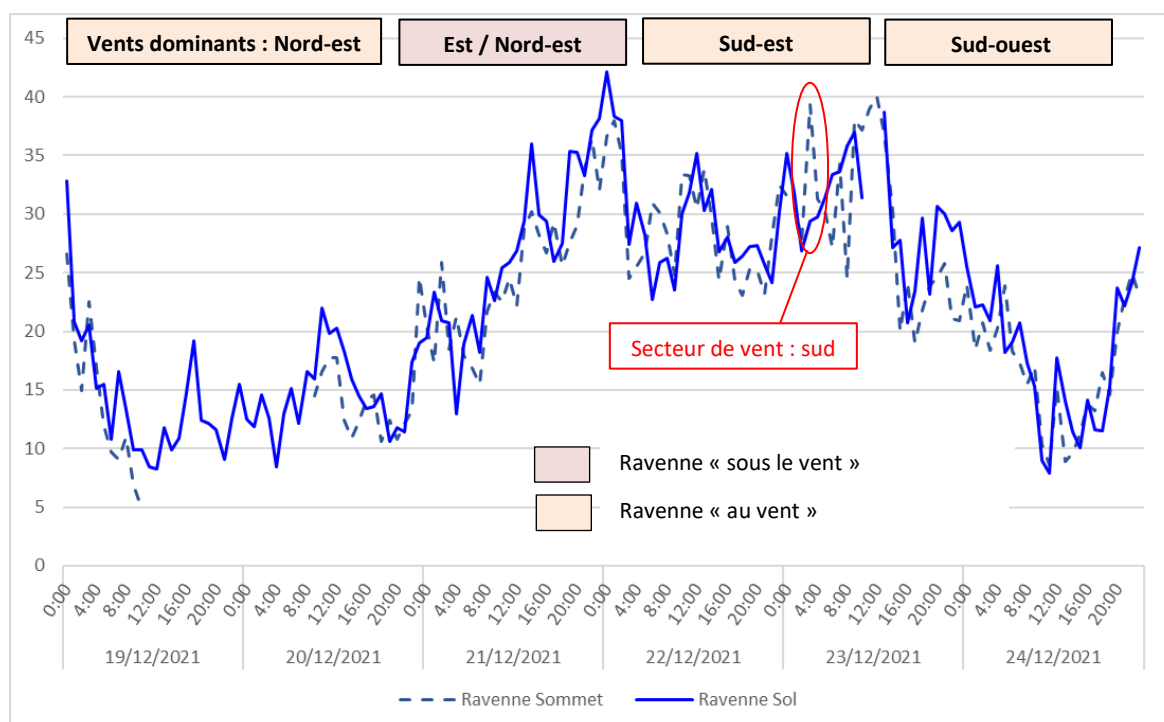


Figure 16 : Concentrations moyennes en particules PM₁₀ au niveau de la tour Ravenne sur la période du 19 au 24 décembre 2022.

Au sommet de la tour Ravenne les concentrations en PM_{10} sont en moyenne inférieures à celles relevées au sol. Néanmoins l'écart entre le sol et le sommet est moins marqué pour ce polluant que pour le dioxyde d'azote. On observe quelques pics où les teneurs relevées au sommet sont supérieures à celles mesurées au sol, comme le 23 décembre à 3h où un écart de $9,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est relevé entre le sol et le sommet par secteur sud. Durant cette période, la tour Ravenne n'est pas sous le vent de l'UIOM qui est sous l'influence de l'incinérateur lors de régimes de vent d'est. Par vent d'est, la hiérarchie des teneurs de particules entre le sommet de la tour et le sol reste la même et n'engendre pas d'impact de l'incinérateur.

5.5.3 Particules $PM_{2.5}$

La Figure 17 présente les concentrations moyennes en particules $PM_{2.5}$ au niveau de la tour Ravenne (seule tour équipée de mesures de particules), sur la période de mesures du 19 au 24 décembre.

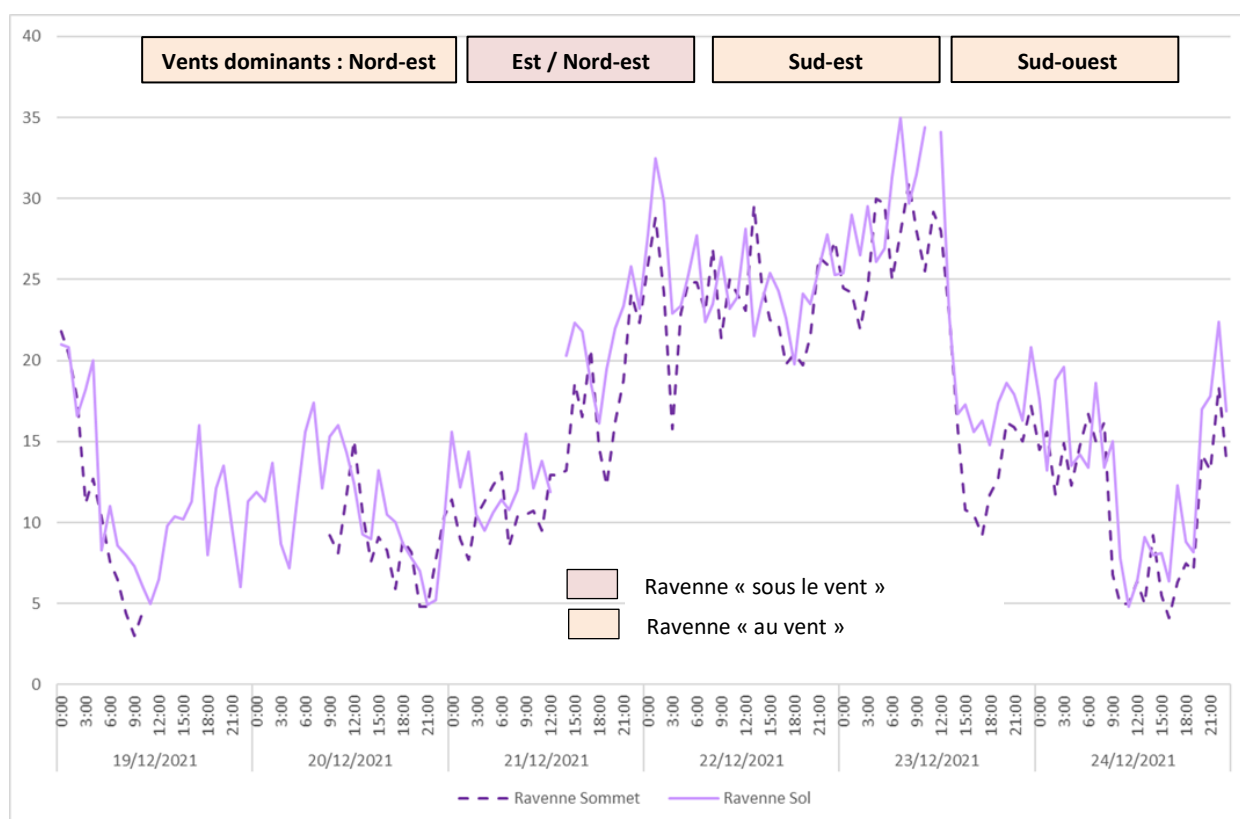


Figure 17 : Concentrations moyennes en particules $PM_{2.5}$ au niveau de la tour Ravenne sur la période du 19 au 24 décembre 2022.

Comme indiqué sur la Figure 14, la différence de concentrations en $PM_{2.5}$ entre le sol et le sommet est uniquement de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, de ce fait, l'écart entre les teneurs relevées au sol et au sommet est également moins marqué pour ce polluant que pour le dioxyde d'azote. Néanmoins, peu importe le régime de vents les concentrations élevées en $PM_{2.5}$ restent plus faibles au sommet qu'au sol, lors de régimes de vent plaçant ou non la tour sous l'influence potentielle de l'incinérateur.

6. Conclusions

Cette étude a pour objet l'évaluation d'un potentiel impact du panache de l'unité d'incinération d'ordures ménagères (UIOM) d'Ivry-Paris XIII au niveau de hautes tours du 13^{ème} arrondissement de Paris. Elle a été demandée par le Sycotom suite à des interrogations de riverains de tours d'habitation du secteur Masséna. Cette campagne de mesures s'est déroulée sur la période du 22 novembre 2021 au 9 janvier 2022 sur 3 tours de 100 mètres de haut : tours Ravenne, Ancône et Mykérinos.

Des mesures des concentrations en dioxyde d'azote (NO₂) ont été réalisées au sommet et au pied des tours Ravenne et Ancône, placées sous les vents de l'UIOM par secteur est, et à des distances respectives de l'incinérateur de 1900 et 1500 mètres. Le dispositif de mesures est complété par l'instrumentation de la tour Mykérinos, placée « sous le vent » par secteur sud-est, à une distance de 1950 mètres. Sur cette dernière, une mesure supplémentaire de NO₂ à une hauteur intermédiaire de 50 mètres a été réalisée. Au sommet et au pied de la tour Ravenne, les particules PM₁₀ et PM_{2,5} ont également été mesurés.

Les concentrations en dioxyde d'azote relevées au niveau du sol des tours Ravenne, Ancône et Mykérinos sont respectivement de 30 µg/m³, 32 µg/m³ et 29 µg/m³, elles varient en fonction du quartier et de la proximité au trafic routier. Les concentrations de NO₂ aux stations de fond d'Airparif de Paris 13^{ème} et de Paris 1^{er} Les Halles présentent des teneurs comparables à celles relevées aux pieds des tours avec respectivement des teneurs de 27 µg/m³ et de 30 µg/m³.

Les gradients de concentrations de NO₂ entre le sommet et le pied des tours en moyenne sur la période totale sont négatifs sur les trois tours : ils varient de -3 µg/m³ (tour Mykérinos) à -7 µg/m³ (tour Ancône) soit de -10 % à -22 %, pour l'ensemble des directions de vent et de manière relativement homogène. Cet écart entre le sol et le sommet est relativement modéré sachant que les points de mesures implantés au sol au niveau des tours sont en situation de fond, c'est-à-dire éloigné de l'influence directe du trafic routier. Toutefois, la diminution des teneurs au fur et à mesure de la hauteur (éloignement des sources d'émissions et conditions de dispersion plus importante) se vérifie sur les trois tours.

Lors des régimes de vent plaçant les tours sous l'influence potentielle de l'incinérateur, les concentrations de dioxyde d'azote restent inférieures au sommet des tours en gardant une hiérarchie des teneurs entre le bas et le haut des tours constante et homogène. Au cours de la campagne de mesure, il n'y a pas eu d'influence constatée sur les niveaux de NO₂ au sommet des tours ni à mi-hauteur.

Pour les particules PM₁₀ et PM_{2,5}, la concentration moyenne sur la durée totale de la campagne est légèrement moindre au sommet de la tour Ravenne (1 µg/m³) et il n'a pas été observé d'influence sur les concentrations lors des régimes de vent plaçant la tour sous le vent des émissions de l'incinérateur. Les différences de concentrations entre le sol et le sommet sont moins marquées que pour le dioxyde d'azote.

ANNEXES

Annexe 1

Emplacements des sites de mesure

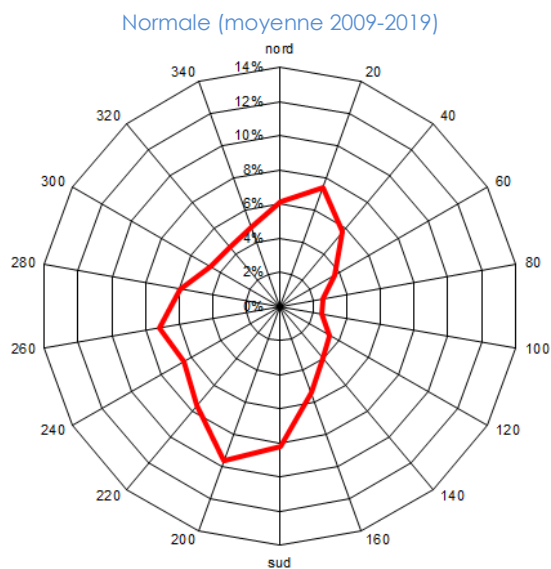
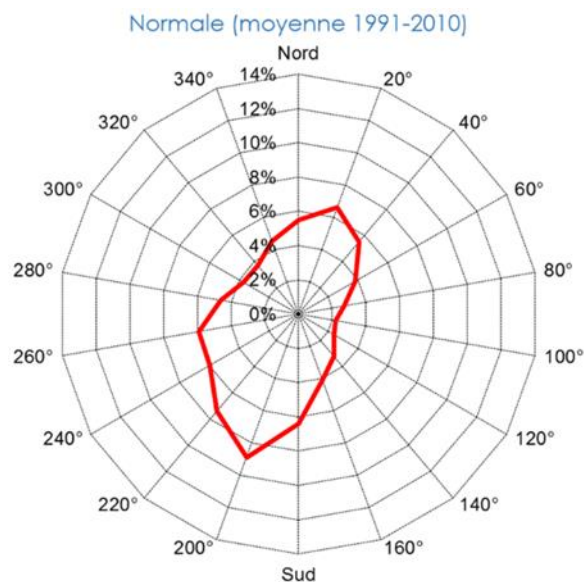
- Tour Ancône, à 1460 m de l'UIOM, potentiellement impactée par vent de secteur est : $90^{\circ} \pm 30^{\circ}$, soit sous les vents de 60° à 120°
- Tour Palerme, à 1920 m de l'UIOM, potentiellement impactée par vent de secteur est : $80^{\circ} \pm 30^{\circ}$, soit sous les vents de 50° à 110°
- Tour Khéops, à 2000 m de l'UIOM, potentiellement impactée par vent de secteur sud-est : $130^{\circ} \pm 30^{\circ}$, soit sous les vents de 100° à 160°

Les trois sites proposés sont des tours d'habitation de structures similaires : 35 ou 36 étages, hauteur de 102 / 103 mètres.

Annexe 2

Roses des vents 1991 – 2010 et 2009 – 2019

Rose des vents mesurées sur l'historique 1991-2010 (à gauche) et 2009-2019 (à droite) à la station météo de Montsouris.



Annexe 3

Matériel de mesure

Deux types de matériels ont été utilisés au cours de cette campagne :

- Des analyseurs automatiques pour la mesure des NO_x, des particules PM₁₀ et PM_{2.5} du même type que ceux installés sur les stations de mesures permanentes d'Airparif (méthode de référence). Ce matériel est abrité dans des armoires, nécessitant un emplacement sécurisé.
- Des micro-capteurs pour la mesure du NO₂. Ce matériel, léger et beaucoup plus simple de mise en œuvre que les analyseurs de référence, est installé dans des mini-stations, fixées en extérieur sur des grilles ou des poteaux. L'incertitude de mesure sur ce type de matériel est plus élevée que sur les analyseurs de référence. En amont de la campagne de mesure, une procédure de calage est réalisée sur une semaine, sur une station du réseau équipée d'analyseurs de référence. A la fin de la campagne, cette même comparaison avec un station de référence a été faite pour vérifier si ce calage était toujours valable (vérification d'une dérive potentielle).

Ces appareils de mesure, représentés sur figures suivantes, fournissent des concentrations au pas de temps horaire.



Analyseurs automatiques mis en œuvre pendant la campagne de mesures



Micro-capteurs mis en œuvre pendant la campagne de mesure